



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 49, No. 1, 2016.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.1.98>

Inductively Coupled Plasma를 이용한 SnO 박막의 식각 특성 연구

김수곤^a, 박병옥^b, 이준형^b, 김정주^b, 허영우^{b,*}

^a나노융합기술원, ^b경북대학교 신소재공학부

Study of Dry Etching of SnO thin films using a Inductively Coupled Plasma

Su-Kon Kim^a, Byung-Ok Park^b, Joon-Hyung Lee^b,
Jeong-Joo Kim^b, Young-Woo Heo^{b,*}

¹National Institute for Nanomaterials Technology, Pohang 37673, Korea

²School of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

(Received February 16, 2016 ; revised February 25, 2016 ; accepted February 26, 2016)

Abstract

The dry etching characteristics of SnO thin films were investigated using inductively coupled plasma (ICP) in Ar, CF₄, Cl₂ chemistries. The SnO thin films were deposited by reactive rf magnetron sputtering with Sn metal target. In order to study the etching rates of SnO, the processing factors of processing pressure, source power, bias power, and etching gas were controlled. The etching behavior of SnO films under various conditions was obtained and discussed by comparing to that of SiO₂ films. In our results, the etch rate of SnO film was obtained as 94nm/min. The etch rates were mainly affected by physical etching and the contribution of chemical etching to SnO films appeared relatively weak.

Keywords : SnO thin Film, Inductively Coupled Plasma, Etching

1. 서 론

최근 전자 기술 분야에서는 투명 반도체, Wearable 반도체를 넘어 사물인터넷(Internet of Thing) 이라고 하여 모든 생활 전반에 전자 제품이 관여하게 될 것으로 예상되고 있다. 이에 따른 투명 디스플레이와 플렉시블 디스플레이는 기술 개발과 제품화가 요구되고 있지만, 투명 디스플레이 기술이 현실화하기 위해서는 투명전극을 이용한 제품과 이를 위한 재료 및 제조 공정의 연구가 더 많이 진행되어야 한다.

투명 박막 트랜지스터의 재료로 많이 이용되는

투명 반도체 산화물로는 In-Ga-Zn-O (IGZO), In-Sn-Zn-O (ITZO), In-Sn-O (ITO), ZnO등이 있으며[1-4], 이 재료들로 제작되는 투명 산화물 반도체는 Bandgap과 Optical Window등에서 특성적으로 우수한 성능을 보이면서 실제 제품화까지 진행되고 있다. 하지만, 이 재료들은 대부분 n형 특성을 띄고 있으며 p형 특성을 갖는 재료는 일부의 재료만이 있다고 알려져 있으며 아직도 더 많은 연구가 필요한 시점이다.

P형 반도체가 될 수 있는 투명 반도체 산화물은 Cu₂O, CuO, SnO, NiO, CrCu₂O₂등 이라고 알려져 있다[5-11]. 이 재료 중 SnO의 경우 높은 Hole Mobility와 저온 공정의 제조 조건 등으로 유망한 재료로 예상된다.

한편, 투명 전도 물질의 경우 대부분 식각이 어려운 물질로 이에 대한 식각 기술은 생산성부분에서 중요한 인자가 된다[12]. 식각 기술은 반도체 제

*Corresponding Author: Young-Woo Heo
School of Materials Science and Engineering, Kyungpook National University
Tel: +82-53-950-7587 ; Fax: +82-53-950-5645
E-mail: ywheo@knu.ac.kr

조 기술과 함께 많은 발전을 가져왔지만, 아직도 그 특성에 대한 예상이 쉽지 않다. 지금까지 많은 장비의 발전이 있었고 또 공정 기술의 발전이 있었지만 아직도 식각 기술에 대한 완전한 이해는 어려운 일이다.

본 연구에서는 투명 산화물 반도체를 만들기 위한 재료의 연구 일환으로 진행되는 것이며, 특히 P형 반도체 특성을 갖는 재료인 SnO에 대한 식각 특성을 연구하고자 한다. 최근 InGaZnO, SnO₂, ZnO에 대한 식각 특성을 연구한 사례는 있지만[13-16], SnO에 대한 식각 연구는 찾기 어렵다. 따라서, ICP Etcher에서 가장 많이 적용하고 있는 Etchant인 Cl₂와 CF₄의 Gas조건에서 SnO와의 반응성에 대한 평가를 우선 진행하였다. SnO와 Etch Gas의 반응성에 대한 평가는 다른 인자는 동일하게 적용하고 Etch Gas 인자만 변경하였을 때에 나타나는 Etchrate를 기준으로 진행하였다. Etchrate기준으로 Main Gas를 결정한 후 식각 반응에 관련된 인자를 검출하고 이에 대한 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 SnO는 Sputtering법으로 증착 변수의 정밀한 조절을 통해 단일상의 p형 SnO를 증착한 것이다. 2인치 금속 Sn 타겟으로 reactive sputtering을 통해 박막을 증착시켰으며, 기판으로는 soda-lime glass (corning eagle 2000)가 사용되었다. 이를 통해 SnO단일상을 얻을 수 있었다.

본 실험에 사용된 식각 장치는 Inductively Coupled Plasma (ICP)를 이용한다. 실험에 사용된 장치는 반응실의 Top 부분에 Coil을 배치하여 Source Power를 인가하고 반응실의 상하로 Bias Power를 인가하는 일반적인 ICP장비의 구조를 가지고 있으며, CF₄와 Cl₂ Gas를 모두 사용가능하며, Turbo Pump를 이용하여 고진공의 식각 공정이 가능하도록 구성된 장치이다. 장치의 Loading은 6 inch Silicon wafer를 기준으로 Loading하는 방식으로 이 실험을 위하여 6 inch Bare Silicon Wafer를 사용하였으며 그 위에 시편을 부착하여 진행하는 방식으로 진행하였다. Wafer와 시편 사이의 열전도를 위하여 Thermal Compound를 사용하였으며 식각 정도를 확인하기 위하여 Veeco사의 3D Profiler를 이용하여 단차를 측정하였다.

Silicon공정과의 비교를 위하여 SiO₂ 박막에 대한 평가를 추가 진행하였으며, 이 때 진행은 같은 Wafer 위에 SiO₂ 샘플과 SnO 샘플을 동시에 부착하여 진행하도록 하였다. 최종 Etching조건 확인은 Carl

Table 1. Processing conditions of ICP etching

	Pressure (mTorr)	Pw-s (W)	Pw-b (W)	CF ₄ (sccm)	Ar (sccm)
1	10	100	50	10	10
2	20	300	100	30	30
3	30	500	150	50	50
4	40	700	200	70	70

Zeiss사의 FE-SEM으로 확인을 하였으며 최적의 Etching 조건에 대한 Profile을 확인할 수 있도록 하였다.

공정 진행 조건은 장치의 Base 조건으로 압력 20 mTorr, Source Power 300 W, Bias Power 100 W, CF₄ 30 sccm, Ar 50 sccm, 또는 Cl₂ 30 sccm, Ar 50 sccm으로 진행하였으며, Chuck 온도는 15°C에서 진행하였다. 각 인자간의 상호작용을 포함하여 진행할 수도 있지만, 각 인자의 영향성을 판단하기 위하여 복잡한 실험이 수반되어야 하는 어려운 점이 있으므로 이 연구에서는 각 인자의 영향성을 따로 구분하여 평가하였다.

다음은 본 연구에서 계획한 각 인자와 각 인자에 대한 실험 수준이며, 이는 본 장치가 가지고 있는 특성을 감안한 수치이다.

위와 같이 많은 식각 인자 중에서 압력, Source Power, Bias Power, Etchant Gas, 분위기 Gas의 변화를 통한 SnO의 식각을 연구를 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

SnO박막을 식각하는 조건을 도출하기 위하여 ICP Etching의 인자들을 평가하는 방법을 적용하기 전에 선행 평가로 본 장치의 Main Etchant인 F와 Cl₂의 식각 능력 평가를 동일 공정 조건에서 CF₄ Gas와 Cl₂ Gas를 동일한 양으로 진행하였을 때 식각 속도는 다음과 같았다.

그림 1의 실험 결과에서 CF₄ Gas를 사용하는 경우가 Cl₂ Gas를 적용하는 경우보다 우수한 식각 능력을 보여주었으며, SnO의 경우 SiO₂ 보다 1/2 정도의 식각 능력을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 결정 구조상의 차이에 기인한 것으로 추정되는데 SiO₂의 경우 Si 원자가 가운데 있는 정사면체 구조로 각 분자간에는 공유결합을 하고 있는 구조로 되어 있지만, SnO의 경우 계면은 Tetragonal 구조에 Layer to layer는 반데르발스 결합을 하고 있다.

SiO₂의 경우 CF₄와 Cl₂의 반응을 보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

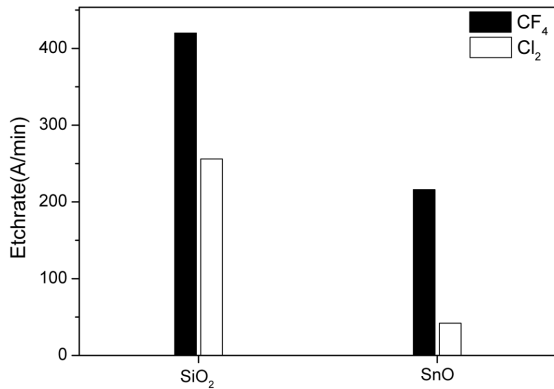
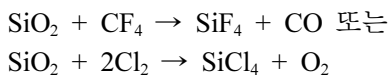
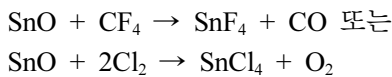


Fig. 1. Etchrate of SnO and SiO₂ in CF₄ and Cl₂ gas (Pressure: 20 mTorr, Power-s: 300 W, Power-b: 100 W, CF₄: 30sccm or Cl₂: 30 sccm, Ar: 50 sccm).



또한 SnO의 경우의 반응은 아래와 같이 나타낼 수 있다.



이 반응에서 SiF₄ 또는 SnF₄의 반응이 SiCl₄ 또는 SnCl₄의 반응보다 쉽게 발생하는 것으로 보여진다. 이는 Si-O와 Sn-O의 결합력과 Si-F와 Si-Cl, Sn-F와 Sn-Cl의 반응 속도와 관련 있는 것으로 예상된다[15].

이 결과를 기준으로 SnO의 식각을 위한 이후 평가는 CF₄ Gas를 메인으로 사용하는 조건으로 실시하였으며 공정 평가의 한 방법으로 SiO₂의 평가를 병행 진행하였다.

공정 평가 조건은 장치의 Base 조건에 각 인자에 대하여 수준표(표 1)에서 지정한 값으로 진행하였으며 각 실험은 인자에 대한 영향을 확인하는 것으로 다른 조건은 동일하게 한 상태에서 각 인자를 변화시키면서 Etchrate에 대한 영향을 확인하였다.

첫 번째 인자인 압력은 Etchant 입자의 Mean Free Path에 영향을 주는 인자이다. 압력이 올라갈수록 Etchant가 Chamber내 머무는 시간이 증가하면서 Mean Free Path가 짧아지면서 이방성 식각이 감소하는 경향을 보이게 된다.

압력을 제외한 다른 조건은 Source Power 300 W, Bias Power 100 W, CF₄ 30 sccm, Ar 50 sccm으로 진행하였다. 그림 2에 나타낸 것처럼 SiO₂ 식각 속도는 Pressure가 올라갈수록 감소하는 경향을 보이며 10 mTorr에서 20 mTorr로 변화되는 시점에서 급격한 감소를 나타내었다. SnO의 경우는 반대로 압력이 증가할수록 식각 속도가 증가하는 경향을 보

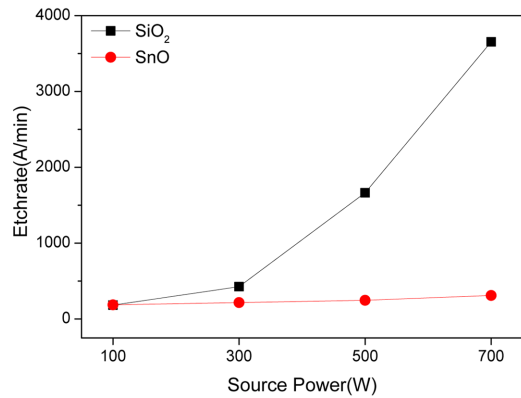


Fig. 2. Etchrate of SnO and SiO₂ as a function of processing pressure (Pressure: 10 ~ 40 mTorr, Power-s: 300 W, Power-b: 100 W, CF₄: 30 sccm, Ar: 50 sccm).

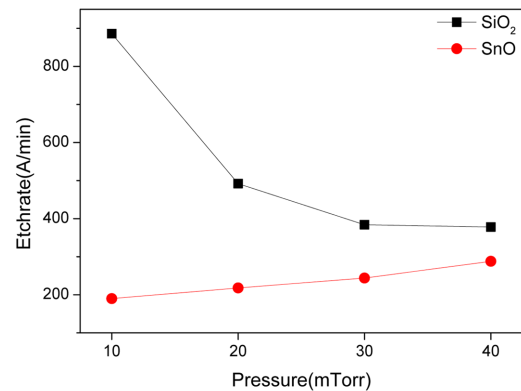


Fig. 3. Etchrate of SnO and SiO₂ as a function of source power (Pressure: 20mTorr, Power-s: 100 ~ 700W, Power-b: 100W, CF₄: 30sccm, Ar: 50 sccm).

이지만 그 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 이는 SiO₂의 식각이 Si + 4F → SiF₄의 화학적 반응보다 Etchant의 가속에 의해 발생하는 물리적 반응이 영향을 크게 주고 있는 것으로 판단되며 SnO의 경우는 압력 변화에 따른 영향은 미미하며, 약하게 화학적 식각에 영향을 받는 것으로 판단된다.

ICP 식각장치에서 Source Power는 Plasma의 밀도를 결정하는 변수이다. Source Power가 증가할수록 Plasma의 밀도가 증가하면서 화학적 식각 속도가 증가하는 것이 일반적이다. 기본 조건은 동일하게 한 상태에서 Source Power를 변화시키면서 Etchrate에 대한 영향을 확인하였다. Source Power가 증가함에 따라 SiO₂와 SnO 모두 증가하는 경향을 나타내고 있지만, SiO₂의 경우는 급격한 증가를 나타내는데 비하여 SnO의 경우 완만한 증가를 나타내는 경향을 나타내었다(그림 3). 이는 CVD 방식으로 증착된 SiO₂의 경우 강한 공유결합을 하고 있지만 Plasma 밀도가 분자간의 결합이 끊어지면서 Etchrate가 급격히 증가하는 경향을 보이지만, SnO

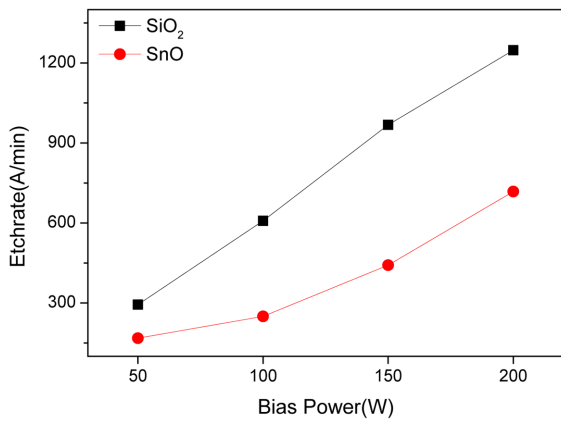


Fig. 4. Etchrate of SnO and SiO₂ as a function of bias power. (Pressure: 20 mTorr, Power-s: 300 W, Power-b: 50 ~ 200W, CF₄: 30 sccm, Ar: 50 sccm)

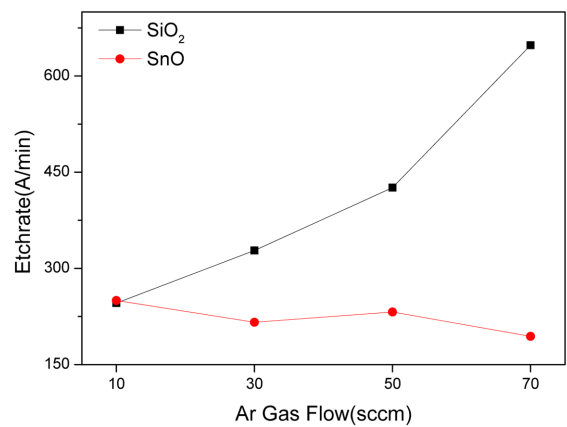


Fig. 5. Etchrate of SnO and SiO₂ as a function of CF₄ gas flow rate. (Pressure: 20mTorr, Power-s: 300 W, Power-b: 100 W, CF₄: 10 ~ 70 sccm, Ar: 50 sccm)

는 수직으로는 약한 반데르발스 결합을 하고 있지만 각 계면에서는 강한 Tetragonal 구조로 Plasma 밀도에 따른 화학 반응의 영향을 적게 받는 것으로 예상된다.

그림 4에서는 Bias Power가 증가함에 따라 SiO₂와 SnO에서 모두 식각 속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 SnO의 경우 Bias Power가 일정 이상 증가함에 따라 급격한 식각 속도 증가가 이루어고 있는 것을 볼 수 있었다. Bias Power는 Plasma 내 Ion의 에너지를 증가시켜 물리적 식각 능력을 결정하는 인자이다. 이는 Bias Power가 증가할수록 Chamber내의 전위차가 증가하여 입자의 가속을 증가시키게 되어 물리적 반응이 증가하게 되는 경향과 일치하는 결과를 나타내었다.

CF₄ Gas는 Main Etchant Gas이며 산화물의 식각에 크게 영향을 주는 인자이다. 동일 조건에서 Gas의 양을 늘일 경우 전체적인 Gas양에서 CF₄ Gas의 비율이 증가하면서 화학적 반응의 증가가 예상되는 것이 일반적이다. 하지만 본 실험에서는 Main Etchant인 CF₄양이 증가함에 따라 SiO₂의 식각 속도는 감소하였지만 SnO의 식각 속도의 변화는 미세하게 증가하는 경향을 그림 5와 같이 얻어졌다. SiO₂의 경우 CF₄ Gas의 증가에 따라 물리적 식각의 감소가 원인으로 예상되며 SnO의 경우 현 조건에서는 CF₄의 양에 영향이 거의 없는 것으로 생각된다.

Ar Gas의 양이 증가하면서 SiO₂와 SnO 다른 경향을 보였다(그림 6). SiO₂의 경우 식각 속도가 증가한 것으로 나타나는데 반하여 SnO는 Etchrate가 거의 변화가 없거나 약하게 감소하는 것으로 나타난다. 이는 SiO₂ 식각에서 물리적 식각의 영향으로 식각 속도가 증가하는데 비하여 SnO는 Ar Gas의 영향을 거의 받지 않지만 CF₄ Main Etchant의 감소

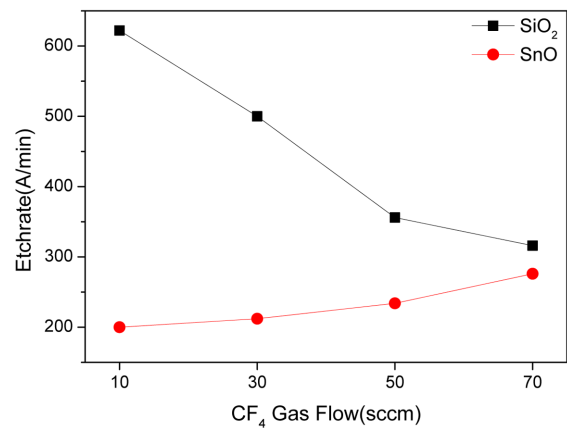


Fig. 6. Etchrate of SnO and SiO₂ as a function of Ar gas flow rate (Pressure: 20 mTorr, Power-s: 300 W, Power-b: 100W, CF₄: 30 sccm, Ar: 10 ~ 70 sccm).

로 Etchrate가 미세하게 떨어뜨리는 것으로 예상된다. 이로써 SnO막은 일정 크기 이하의 물리적 식각에서는 Etchrate에 영향을 크지 않으며 약하게 화학적 반응의 영향을 받은 것으로 예상된다.

SnO의 경우 SiO₂와는 다른 결정 구조를 가지고 있고 이로 인한 계면의 형상도 다르게 나타나므로 식각 특성도 다르게 나타난다고 보여진다. 특히, SnO는 Pressure의 경우 증가에 따라 식각 속도가 미세하게 증가하는 경향을 보였으며, CF₄ Gas의 증가에는 약하게 Etchrate의 증가를 Ar Gas의 증가에는 약하게 감소하는 경향을 보였다. Power의 경우 Source와 Bias Power 증가에 따른 식각 속도 증가를 보여주고 특히 Bias Power의 증가에 대한 영향이 크게 나타나고 있다. 이러한 식각 특성을 볼 때 SnO 박막의 식각은 화학적 반응에 의한 식각보다는 Bias Power에 의한 물리적인 식각이 더 크게 작용하는 것으로 예상할 수 있었다. 한편 일정 조건에서는 CF₄나 Ar Gas의 양이나 압력 또는 Source

Table 2. Obtained optimum etching condition for the SnO etching

	Pressure (mTorr)	Pw-s (W)	Pw-b (W)	CF ₄ (sccm)	Ar (sccm)
Set	30	700	200	50	30

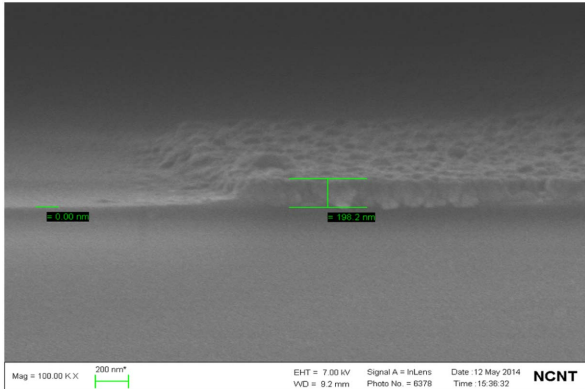


Fig. 7. Cross-section SEM image of Dry-Etched SnO film on glass substrate.

Power의 변화에 따른 Etchrate의 영향이 거의 없는 것을 볼 때 일정 세기의 물리적 반응이 일어나기 전에는 반응이 거의 일어나지 않으며 화학적 반응만이 약하게 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 하지만 일정 이상의 Bias Power에서는 크게 영향을 받는 것을 보여 주었다.

그러므로, SnO 식각을 위해서는 Bias Power로 Ion 에너지의 증가를 통한 일정 이상의 물리적 식각이 일차적으로 필요할 것으로 예상된다. 또한 압력 및 Gas 조건을 통한 화학적 식각 반응도 약하게 영향을 미치고 있으므로 압력, Gas 등의 조건을 통한 Plasma 밀도도 고려할 필요가 있는 것으로 보여진다.

본 연구에서 확인한 바와 같이 SnO는 Etch 인자 중 일정 조건에 특별한 영향을 받는 것이 확인되었다. 이를 바탕으로 각 인자의 최적치를 도출할 수 있었다.

SnO막을 최적으로 식각하기 위한 각 인자의 최적 진행 조건은 물리적 식각을 최대한으로 발생시키면서 화학적 식각 부분도 일부 적용한 조건으로 Bias Power는 최대로 하며 압력과 CF₄ Gas는 증가시키고 Ar Gas는 감소시키는 방향으로 진행하였다. 본 조건으로 진행한 후 동일한 방법으로 측정하였을 경우 Etchrate는 940 Å/min 으로 나타났다. 이는 실험 조건 중 Bias Power의 최적 조건 보다 30% 이상 증가한 것으로 SnO 막이 최적으로 식각되기 위해서는 일정 이상의 Ion 에너지를 필요로 하고 Radical에 의한 화학적 반응의 영향도 받는 것

으로 판단된다. 이를 기준으로 샘플을 모두 식각되도록 시간을 설정하여 진행한 후 SEM 분석을 진행한 결과 아래와 같은 Etch Profile을 얻을 수 있었다.

본 실험의 장비의 특성에 의하여 더 높은 Bias power를 인가할 수 없었지만, 장비의 한계가 없다면 물리적 식각의 강화를 통하여 SnO의 식각 속도를 더 증가시키는 것이 가능하리라 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 P형 재료로 알려진 SnO 박막에 대한 식각 특성을 Inductively Coupled Plasma Etcher 장치를 이용하여 평가하고, 이를 통하여 소자 개발에 필요한 최적의 식각 공정 조건을 확보하기 위한 연구를 진행하였다. SnO 박막의 식각 특성은 기존 Silicon Process의 SiO₂에 비하여 떨어지는 경향을 보여 주었다. 또한 식각 능력에 영향을 미치는 주 인자는 Bias Power로 나타나는데 이는 Etchant의 가속성에 의한 물리적 식각이 식각 속도에 영향을 크게 미치고 있음을 알 수 있다. 특히, 일정 이상의 물리적 식각이 영향을 미치지 않는 일정 구간은 화학적 식각의 영향으로 식각 반응이 약하게 진행되며 있는 것으로 나타났다. 결국 SnO의 식각은 화학적인 식각 반응보다는 가속에 의한 물리적인 식각 반응이 우선적으로 적용되며 추가로 화학적인 반응이 일어나는 메카니즘으로 볼 수 있었다.

Acknowledgment

이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0093819, NRF-2014R1A2A2A04005614).

References

- [1] S. H. Choi, M. K. Han, Effect of channel widths on negative shift of threshold voltage, including stress-induced hump phenomenon in InGaZnO thin-film transistors under high-gate and drain bias stress, *Appl. Phys. Lett.* 100, (2012) 043503.
- [2] K. C. Lee, K. M. Jo, J. H. Lee, J. J. Kim, Y. W. Heo, Electrical and Optical Properties of Amorphous ITZO Deposited at Room Temperature by RF Magnetron Sputtering, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* 47 (2014) 239-243.
- [3] K. Ebata, S. Tomai, Y. Tsuruma, T. Iitsuka, Shigeo

- Matsuzaki, Koki Yano, High-Mobility Thin-Film Transistors with Polycrystalline In-Ga-O Channel Fabricated by DC Magnetron Sputtering, *Appl. Phys Express*, 5 (2012) 011102.
- [4] S. J. Hong, J. I. Han, Synthesis and characterization of indium tin oxide (ITO) nano-particle using gas evaporation process, *J. Electro-ceram.* 17, (2006) 821-826.
- [5] C. L. A. Ricardo, M. D'Incau, M. Leoni, C. Malerba, A. Mittiga, P. Scardi, Structural properties of RF-magnetron sputtered Cu_2O thin films, *Thin solid films* 520 (2011) 280-286.
- [6] K. K. Kim, H. S. Kim, D. K. Hwang, J. H. Lim, S. J. Park, Realization of p-type ZnO thin films via phosphorus doping and thermal activation of the dopant, *Appl. Phys. Lett.* 83, (2003) 63-65.
- [7] M. Snure, A. Tiwari, CuBO_2 : A p-type transparent oxide, *Appl. Phys. Lett.* 91, (2007) 092123.
- [8] P. W. Sadik, M. Ivill, V. Craciun, and D.P. Norton, Electrical transport and structural study of $\text{CuCr}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_2$ delafossite thin films grown by pulsed laser deposition, *Thin Solid Films* 517, (2009) 3211-3215.
- [9] H. Shimotani, H. Suzuki, K. Ueno, M. Kawas, Y. Iwasa, p-type field-effect transistor of NiO with electric double-layer gating, *Appl. Phys. Lett.* 92, (2008) 242107.
- [10] Y. Ogo, H. Hiramatsu, K. Nomura, H. Yanagi, T. Kamiya, M. Hirano, H. Hosono, p-channel thin-film transistor using p-type oxide semiconductor, SnO, *Appl. Phys. Lett.* 93, (2008) 032113.
- [11] S. Y. Kim, J. C. Lee, I. S. Choi, J. H. Lee, J. J. Kim, Y. W. Heo, Growth of Mg Doped CuCrO_2 by Pulsed Laser Deposition, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* 42, (2009) 68-72.
- [12] K. C. Yang, S. W. Park, T. H. Shin, G. Y. Yeom, Application of Pulsed Plasmas for Nanoscale Etching of Semiconductor Devices : A Review, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.* 48, (2015) 360-370.
- [13] J. C. Park, O. G. Jeong, J. K. Kim, Comparison of chlorine- and fluorine-based inductively coupled plasmas for dry etching of InGaZnO_4 films, *Thin Solid Films* 546 (2013) 136-140.
- [14] K. Kim, Alexander Efremov, Junmyung Lee, Etching mechanisms of (In, Ga, Zn)O thin films in $\text{CF}_4/\text{Ar}/\text{O}^2$ inductively coupled plasma, *J. Vac. Sci. Technol. A* 33 (2015) 031601.
- [15] K. H. Kwon, Alexander Efremov, Moonkeun Kim, Nam Ki Min, Jaehwa Jeong, and Kwangsoo Kim, Etching Characteristics of In_2O_3 and SnO_2 Thin Films in an Inductively Coupled HBr/Ar Plasma: Effects of Gas Mixing Ratio and Bias Power, *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 031103.
- [16] H. R. Kim, J. B. Kim, Y. S. Choi, Electrical, Optical and Structural Properties of AZO Thin Film Deposited Using Facing Targets Magnetron Sputtering System with Inductively Coupled Plasma, *Sci. Adv. Mater.* 7 (2015) 107-112.